

**Об информативности моделирования
мгновенного сброса органов регулирования
в пространственно-временных расчётах
быстрых реакторов**

Зизин М.Н.

НИЦ «Курчатовский институт»

Для чего рекомендуется использовать моделирование мгновенного сброса ОР (1):

Пространственно-временное моделирование мгновенного сброса ОР имеет смысл только при расчётах тестовых задач и не используется при анализе измерений на реакторах и критсборках.

Для чего :

- Отладка алгоритмов и программ решения уравнения переноса и пространственной кинетики (ОРУК).
- Проверка программной реализация совместного использования решений уравнения переноса и ОРУК.
- Анализ алгоритмов подготовки кинетических параметров (КП).
- Выбор временного шага при решении уравнений переноса и кинетики.
- Исследование влияния на реактивность и мощность изменений КП во времени.
- Оценка масштабов изменения мощности во времени.
- Выбор оптимальной стратегия пересчёта концентраций предшественников запаздывающих нейтронов (ЗН).
- Анализ точности разных форм ОРУК.

Для чего рекомендуется использовать моделирование мгновенного сброса ОР (2):

- Проверка приближения канонического варианта ОРУК к тождеству по мере уменьшения временного шага.
- Сравнение реактивностей при подстановке в ОРУК разных функционалов (мощности, $\langle \Phi^+ Q^D \rangle$, токов ионизационных камер, имитируемых разными способами, и др.)
- Квазимгновенное опускание ОР – постепенное опускание ОР с большой скоростью – с возможной сменой шага по времени после сброса ОР. Позволяет поиск ряда ошибок, связанных с моделированием постепенного движения ОР.
- Оценка вклада внешних источников нейтронов в реактивность.

Достоинства и недостатки моделирования мгновенного сброса ОР:

Достоинства :

- Времена счёта существенно меньше, чем при моделировании постепенного движения ОР.
- Облегчение самых трудоёмких этапов кроссверификации за счёт существенного сокращения времени расчёта.
- Абстрагирование от ошибок в программах, связанных с моделированием постепенного движения ОР.
- Влияние изменения шага по времени оценивается чисто, без оглядки на cusping effect.

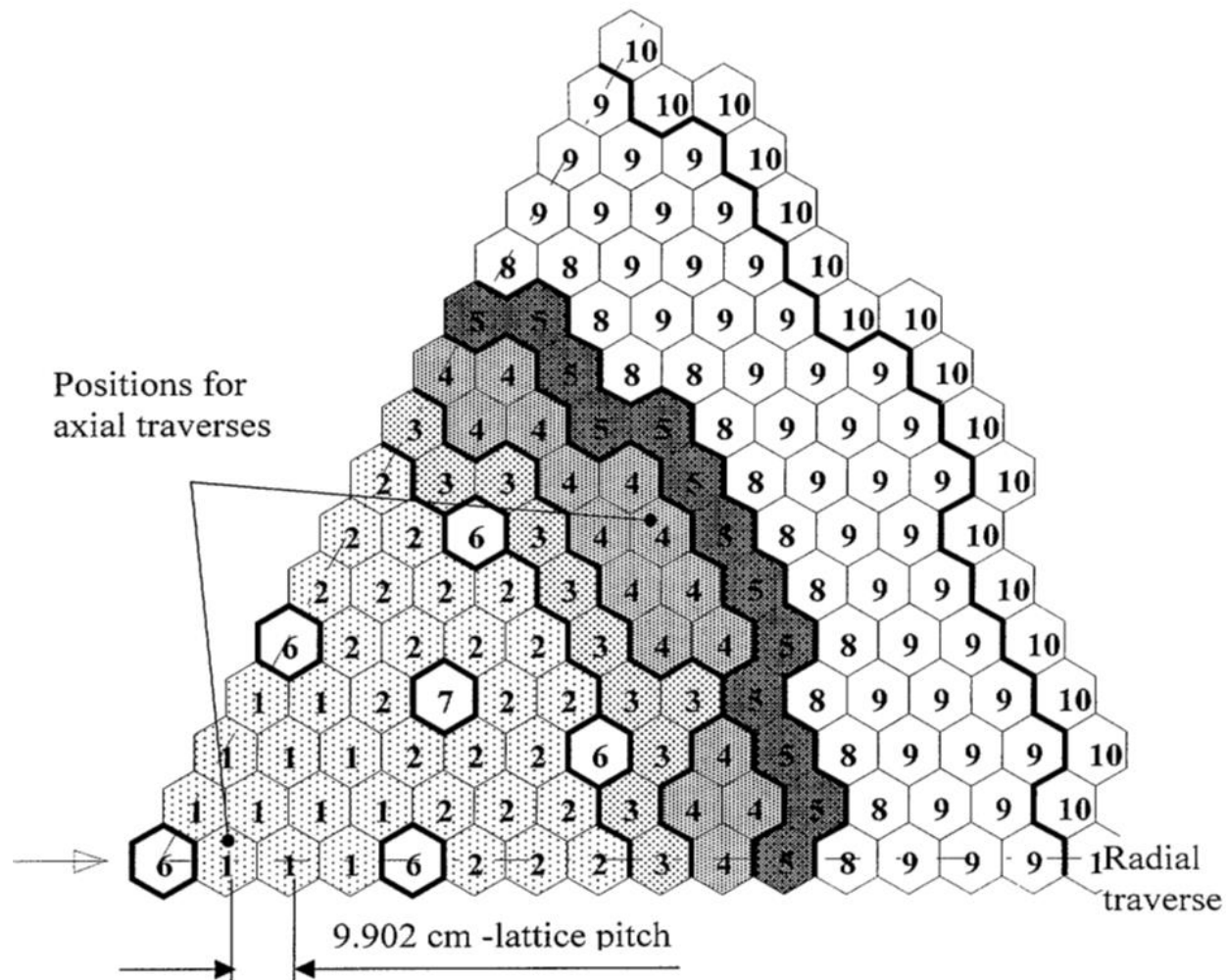
Недостатки :

- Невозможность поиска ошибок, связанных с моделированием постепенного движения ОР.
- Значения мощности реактора, рассчитанные после мгновенного сброса ОР, могут использоваться только для кроссверификации программ, поскольку они существенно отличаются от мощностей, рассчитанных для моментов времени после окончания движения ОР при их постепенном сбросе.

Расчёты (1)

- Некоторые из этих утверждений поясним на примере расчётов двух тестовых задач – BN600_IAEA_T и MET-1000_T, проведя сравнительный анализ моделирования мгновенного сброса и постепенного движения ОР для совпадающих в разных вариантах моментов времени t после окончания движения ОР. Константная система CONSYST Ver.0601 (БНАБ-93) Мощность рассчитывалась с сечением тепловыделения $\Sigma q = v \Sigma f$.
- В тесте BN600_IAEA_T было 6 групп ЗН, а в тесте MET-1000_T восемь.
- Мощность реактора $PW(t)$ везде нормируется на значение $PW(0)$.
- Реактивности из прямых расчётов: $\Delta K/K_{DOWN} = (1/K_{UP} - 1/K_{DOWN}) * K_{UP}$, где K_{UP} и K_{DOWN} – Кэф соответственно при поднятых и опущенных ОР.
- В пространственно-временных расчётах реактивности вычислялись с помощью ОРУК.

Картограмма тестовой модели VN600_IAEA (сектор 60°, симметрия сдвигом)



SubAssembly (SA) Types:

1, 2 – LEZ SA – Inner & Outer
(Low Enrichment) Core Zone

3 – MEZ SA – Medium

Enrichment Core
Zone

4 – MOX SA – (U, Pu)O₂
Fuel subassembly

5 – HEZ SA – Outer
(High Enrichment) Core Zone

6 – SHR6 – Shim Rod

7 – SCR7 – Scram Rod

8 – SSA (1st row) –
Steel Shielding Subassemblies

9 – SSA (2nd-4th rows) –

Steel Shielding Subassemblies

10 – Radial reflectors

BN600_IAEA_T. Изменение реактивности при мгновенном сбросе
 ОР SCR7 и их постепенном опускании за 1.1 с.
 Треугольная геометрия. $\Delta K/K_{DOWN}, \% = -3.91893$
 Q^D – источник запаздывающих нейтронов

| t, c | $\rho, \%$, при подстановке в ОРУК функционалов | | | | | | | | t, c |
|--------|--|---------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| | PW | | | | $\langle \Phi^+ Q^D \rangle$ | | | | |
| | SLOW | PROMPT | | | SLOW | PROMPT | | | |
| SLOW | Δt | | | | | | | | PROMPT |
| | 0.0261 | 0.0261 | 0.01 | 0.001 | 0.0261 | 0.0261 | 0.01 | 0.001 | |
| 1.1 | -3.8419 | -3.8380 | -3.8540 | -3.8632 | -3.8958 | -3.8924 | -3.9085 | -3.9179 | 0.03 |
| 2.1 | -3.8484 | -3.8449 | -3.8580 | -3.8653 | -3.9009 | -3.8974 | -3.9107 | -3.9181 | 0.99 |
| 3.5 | -3.8529 | -3.8517 | -3.8615 | -3.8670 | -3.9041 | -3.9028 | -3.9128 | -3.9183 | 2.43 |
| 5.0 | -3.8552 | -3.8547 | -3.8632 | -3.8680 | -3.9055 | -3.9049 | -3.9136 | -3.9184 | 3.94 |
| 10.0 | -3.8605 | -3.8600 | -3.8663 | | -3.9093 | -3.9087 | -3.9150 | | 8.95 |

BN600_IAEA_T. Изменение мощности при мгновенном сбросе SCR7 и их постепенном опускании за 1.1 с. Треугольная геометрия

| t, c | PW | | | | t, c |
|--------|------------|----------|----------|----------|--------|
| | SLOW | PROMPT | | | |
| SLOW | Δt | | | | PROMPT |
| | 0.0261 | 0.0261 | 0.01 | 0.001 | |
| 1.1 | 0.10107 | 0.128953 | 0.127452 | 0.126932 | 0.03 |
| 2.1 | 0.08278 | 0.095826 | 0.095395 | 0.095135 | 0.99 |
| 3.5 | 0.06662 | 0.074089 | 0.073791 | 0.073642 | 2.43 |
| 5.0 | 0.05546 | 0.060495 | 0.060314 | 0.060209 | 3.94 |
| 10.0 | 0.03601 | 0.037956 | 0.037878 | | 8.95 |

Выводы (1)

- Результаты всегда улучшаются по мере уменьшения шага по времени Δt . Критерий – уменьшение отличий от $\Delta K/K_{\text{DOWN}}$.
- Самый точный результат – PROMPT с $\Delta t = 0.001$ при подстановке в ОРУК функционала $\langle \Phi^+ Q^D \rangle$. Критерий – совпадение с $\Delta K/K_{\text{DOWN}}$.
- Результаты при подстановке в ОРУК мощности PW всегда хуже, чем при подстановке функционала $\langle \Phi^+ Q^D \rangle$.
- При самых больших шагах по времени результаты при мгновенном (PROMPT) сбросе ОР и их постепенном (SLOW) опускании достаточно близки.

Выводы (2)

- При квазимгновенном опускании ОР (постепенное опускание ОР с большой скоростью - $\Delta t = 0.01$ и 0.001) результаты практически совпадают с результатами при мгновенном (PROMPT) сбросе ОР как для реактивности, так и для мощности.
- Значения мощности реактора, рассчитанные после мгновенного сброса ОР, существенно отличаются от мощностей, рассчитанных для моментов времени после окончания движения ОР при их постепенном сбросе со скоростью 1 м/с. По мере увеличения скорости сброса ОР значения мощности приближаются к рассчитанным после мгновенного сброса ОР.
- Мощность реактора, рассчитанная после мгновенного сброса ОР, незначительно уменьшается при уменьшении шага по времени.
- Выводы справедливы для гексагональной и треугольной геометрии.
- Большая часть выводов и рассуждений может быть применима при расчётах не только быстрых реакторов